

**LXI OLIMPIADA FIZYCZNA**  
**Zawody II stopnia**

**Zadanie doświadczalne**

Masz do dyspozycji:

- kontaktron (patrz uwaga poniżej),
- magnes neodymowy w kształcie walca,
- zasilacz prądu stałego o regulowanym natężeniu 0 – 3 A,
- cienki, pokryty emalią drut miedziany z odizolowanymi końcami,
- dwa mierniki uniwersalne,
- linijkę, papier milimetrowy, pisak wodoodporny,
- zestaw przewodów z końcówkami, umożliwiającym zestawienie układu pomiarowego,
- taśmę klejącą.

Pole magnetyczne na zewnątrz magnesu w kształcie walca ma symetrię obrotową względem jego osi  $z$ . Wektory indukcji pola w punktach na osiach  $x$  oraz  $z$  mają kierunki pokazane na rysunku. Postawiono hipotezę, że wartości indukcji pola magnetycznego w tych punktach są odpowiednio dane wzorami

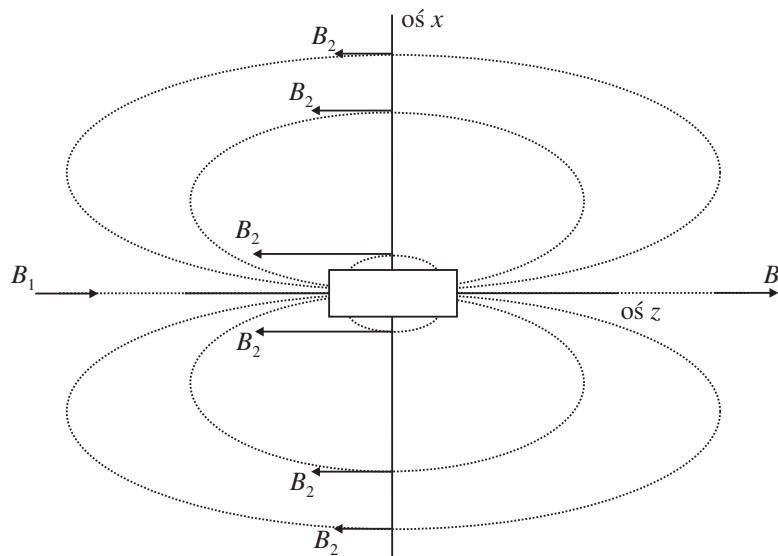
$$B_1(z) = \frac{\mu_0 a_1}{4\pi z^3}, \quad B_2(x) = \frac{\mu_0 a_2}{4\pi x^3}$$

gdzie  $z$  i  $x$  to odległości od środka magnesu,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m/A}$ , a  $a_1$  i  $a_2$  to pewne stałe.

Sprawdź, czy hipoteza ta jest poprawna, a jeśli tak, wyznacz wartości  $a_1$  i  $a_2$ .

**Uwaga:**

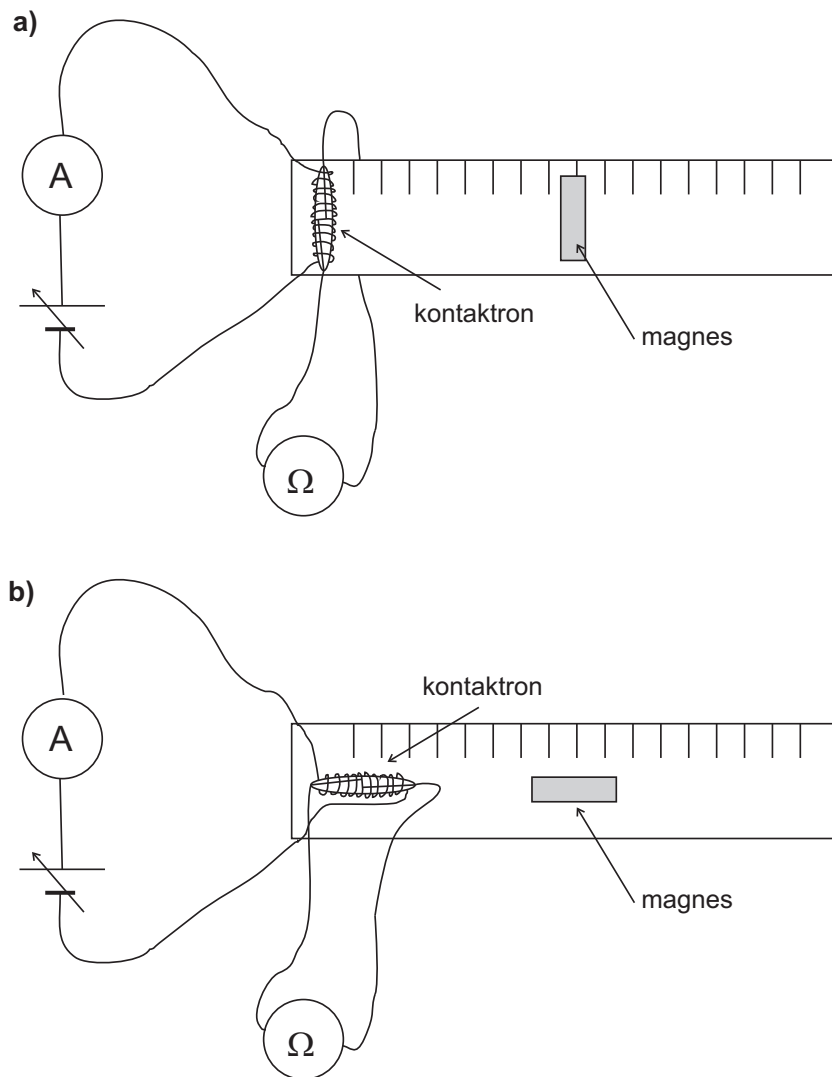
- a) Kontaktron jest to przełącznik elektryczny, sterowany polem magnetycznym. Składa się z hermetycznej bańki szklanej, w której zatopione są styki z materiału ferromagnetycznego. Przykładając pole magnetyczne skierowane równoległe do osi kontaktronu, można doprowadzić do zwarcia styków.
- b) Kontaktron (wraz z przylutowanymi do niego przewodami) jest delikatnym urządzeniem! Nie należy ścisnąć jego bańki oraz zginać drucików z niej wystających, gdyż może to spowodować uszkodzenie kontaktronu. Prąd przepływający przez styki kontaktronu nie powinien przekroczyć 10 mA.



Rysunek: Schemat linii pola magnetycznego w pobliżu magnesu.

## Rozwiązanie

Rozwiązanie zadania opiera się na pomysłach pomiaru indukcji pola magnetycznego magnesu przy użyciu kontaktronu. Schemat proponowanego układu doświadczalnego do pomiaru pól na osiach  $x$  i  $z$  jest pokazany odpowiednio na rysunkach 1a) i 1b). Wykorzystując dostępny drut miedziany, na kontaktronie nawijamy



Rysunek 1

cewkę. Do jej końców szeregowo podłączamy zasilacz prądu stałego i amperomierz. Dodatkowo, opór pomiędzy stykami kontaktronu mierzymy przy użyciu omomierza. Kontaktron przyklejamy do linijki, a magnes neodymowy umieszczamy na linijce w pewnej odległości od kontaktronu. Indukcja pola magnetycznego wzdłuż osi kontaktronu  $B$  będzie równa sumie  $B_m + B_c$ , gdzie  $B_m$  to indukcja pola od magnesu, a  $B_c$  to indukcja pola wytworzonego przez prąd w cewce, która jest równa  $B_c = \mu_0 n I$ , gdzie  $I$  to płynący przez cewkę prąd (wskazanie amperomierza), a  $n$  to liczba zwojów cewki na jednostkę długości. Oznaczmy przez  $B_{\text{kryt}}$  indukcję pola magnetycznego, która powoduje zwarcie styków kontaktronu. Wówczas jej wartość możemy wyznaczyć mierząc prąd  $I_{\text{kryt}}$ , jaki jest niezbędny do zwarcia styków przy nieobecności magnesu (moment zwarcia możemy łatwo wychwycić obserwując wskazanie omomierza). Wówczas

$$B_{\text{kryt}} = \mu_0 n I_{\text{kryt}} \quad (1)$$

Pomysł pomiaru indukcji pola magnetycznego wytwarzanego przez magnes opiera się na wyznaczeniu prądu  $I(r)$  niezbędnego do zwarcia styków kontaktronu dla różnych odległości  $r$  środka magnesu od kontaktronu mierzonej wzdłuż osi  $x$  lub  $z$ . Wtedy mamy, że

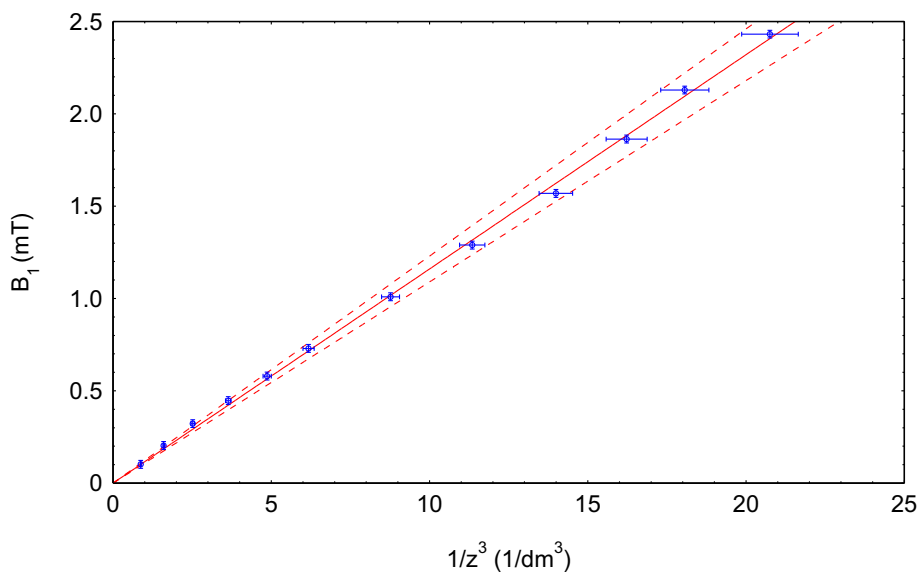
$$\mu_0 n I_{\text{kryt}} = B_{\text{kryt}} = \mu_0 n I(r) + B_m(r) \quad (2)$$

gdzie  $B_m(r)$  to składowa pola magnetycznego magnesu wzdłuż osi kontaktronu. Po prostym przekształceniu mamy

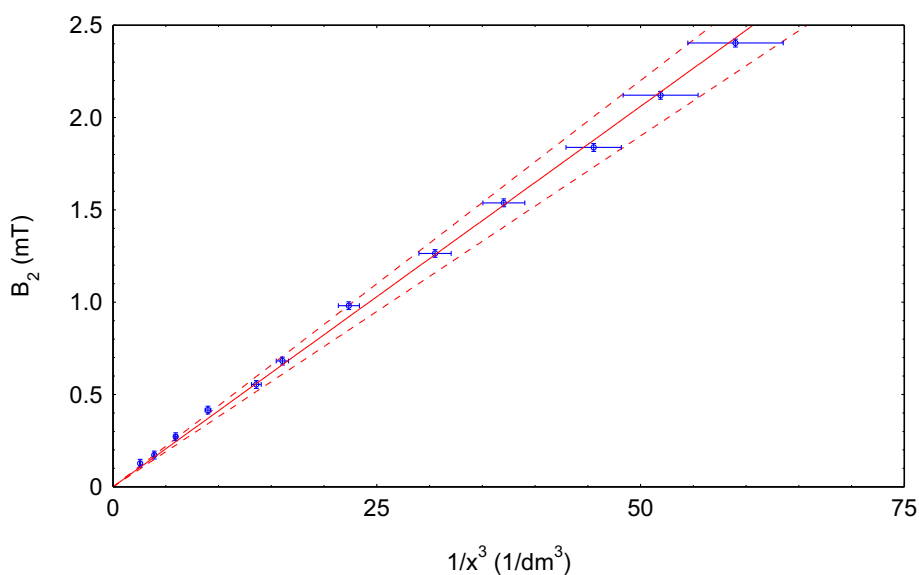
$$\mu_0 n (I_{\text{kryt}} - I(r)) = B_m(r) = \frac{\mu_0 a_i}{4\pi r^3} \quad (3)$$

gdzie  $i = 1, 2$  odpowiada dwóm konfiguracjom położenia magnesu względem kontaktronu. Wykonując wykresy zależności  $B_m$  od  $1/r^3$  możemy sprawdzić, czy dla obu konfiguracji hipoteza postawiona w treści zadania jest prawdziwa. Dodatkowo, wartości współczynników  $a_1$  i  $a_2$  wyznaczymy dopasowując do danych doświadczalnych odpowiednie proste.

W doświadczeniu przeprowadzonym przez recenzenta na kontaktron o długości  $2,0 \pm 0,1$  cm nawinięto cewkę o  $45 \pm 2$  zwojach, co dało  $n = 22,5 \pm 1,5$  zwoju na centymetr. W tym przypadku prąd niezbędny do zwarcia styków przy nieobecności magnesu był równy  $I_{\text{kryt}} = 0,96 \pm 0,01$  A (jego wartość mierzono kilkakrotnie, aby zwiększyć dokładność wyniku). Następnie, dla każdej konfiguracji położenia magnesu i kontaktronu, wykonywano pomiary prądu zwierającego styki od odległości magnesu. Magnes umieszczano tak, aby składowa jego pola wzdłuż osi kontaktronu miała taki sam kierunek i zwrot, jak pole od cewki (co można było stwierdzić badając, czy prąd potrzebny do zwarcia styków w obecności magnesu jest większy bądź mniejszy od  $I_{\text{kryt}}$ ). Odległość magnesu od kontaktronu przyjmowano jako odległość środka magnesu od środka kontaktronu, co oczywiście powodowało pewien błąd z uwagi na rozmiary kontaktronu (błąd ten był szczególnie istotny dla pomiarów indukcji pola magnesu na osi  $z$ ). Dla różnych odległości magnesu pomiar prądu  $I(r)$  przeprowadzano kilkakrotnie, każdorazowo przed pomiarem oddalając magnes od układu i wyłączając prąd płynący przez cewkę (aby uniknąć wpływu histerezy ferromagnetycznych styków). Wyniki pomiarów dla obu konfiguracji są przedstawione na rysunkach 2 i 3. Widzimy bardzo dobrą zgodność danych



Rysunek 2: Wykres pola  $B_1$  od  $1/z^3$ .



Rysunek 3: Wykres pola  $B_2$  od  $1/x^3$ .

doświadczalnych z hipotezą postawioną w treści zadania. Dopasowując proste otrzymano

$$a_1 = 1,16 \pm 0,07 \text{ A} \cdot \text{m}^2, \quad a_2 = 0,41 \pm 0,03 \text{ A} \cdot \text{m}^2 \quad (4)$$

Na niepewność otrzymanych wielkości główny wpływ ma staranność wykonania pomiaru. Dodatkowo trzeba pamiętać, że rozmiary kontaktronu uniemożliwiają pomiar pola magnetycznego pochodzącego od magnezu w jednym punkcie, co również wpływa na błąd otrzymanego wyniku. Stosunek szukanych współczynników  $a_1/a_2 = 2,8 \pm 0,3$ . Wynik ten jest zgodny z modelem pola magnetycznego na zewnątrz magnezu jako pola od dipola magnetycznego umieszczonego w środku magnezu (na podstawie tego modelu szukany stosunek powinien być równy 3).